

PERILAKU LAJU PERAMBATAN RETAK FATIK PADA HASIL PENGELASAN TIG Al 6061 – T4

Sulardjaka¹⁾, Jamasri²⁾

ABSTRACT

Fatigue crack growth rate of TIG welding joint of Al 6061 – T4 has been investigated. The tests were performed in a room temperature with a constant load amplitude and the load ratio was maintained to be 0,1. The load frequency was adjusted in the range of 1 – 11 Hz. Crack propagation tests were carried out on 1.6 mm thick of center crack tension (CCT) specimens with longitudinal and transversal butt joints. Alternating current manual TIG welding has been set in 5 mm/s traveling speed, 10 volt, 60 A current, with 1,6 mm filler diameter. The filler wire used in this research was Al 4043.

The experimental result shows that crack growth rate on HAZ zone of transversal butt joint increases the Paris constant's n from 3,43 to 3,7 or about 9 % and C from $6,39 \times 10^{-11}$ to $2,63 \times 10^{-10}$. Paris constant's n of fatigue crack growth rate on weld zone decreases about 10 %. On longitudinal butt joint crack growth rate, the CGR is increased when the crack tip is acrossing the weld zone. Transversal butt joint reduces the tensile strength of Al 6061 – T4 about 39 % and elongation about 81,5 %. The tensile strength of longitudinal butt joint decreases about 25% Filler's compositions Al 4043 increases composition of Si in the weld zone become 2,27%.

Key words : Aluminum, welding, fatigue crack growth rate.

LATAR BELAKANG

Teknik pengelasan telah dipergunakan secara luas pada penyambungan batang-batang konstruksi bangunan dan konstruksi mesin. Luasnya penggunaan proses penyambungan dengan pengelasan karena : pengelasan merupakan teknik penyambungan dengan biaya murah, lebih ringan, dan memberikan fleksibilitas dalam desain (Cary,1989). Namun sambungan las mungkin menimbulkan lonjakan tegangan lebih besar jika dibandingkan dengan sambungan pada mur-baut dan paku keling (Jamasri,1995). Hal ini disebabkan perubahan struktur mikro pada daerah sekitar las yang menyebabkan turunnya kekuatan bahan, timbulnya tegangan sisa, dan retak akibat dari proses pengelasan.

Kerusakan pada konstruksi las akibat beban dinamis dapat dilihat pada kerusakan patah getas yang dijumpai pada struktur jembatan dan kapal yang dilas (Wirjosumarto dan Okumura, 1985). Kerusakan ini terjadi disebabkan oleh retak-retak halus pada daerah pengaruh panas atau sambungan las, kemudian retak-retak tersebut merambat saat struktur jembatan atau kapal menerima beban dinamis. Sehingga dalam penggunaan sambungan las, proses pengelasan dan pemilihan bahan dasar merupakan hal penting yang harus diperhatikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju perambatan retak (CGR) pada pengelasan TIG aluminium paduan 6061-T4. Pada penelitian ini juga akan dilakukan karakterisasi mekanik dari hasil pengelasan.

Faktor intensitas tegangan kritis yang terbentuk dari sambungan las bahan pelat baja lunak (0,2 % C) telah diteliti oleh Jamasri (1995). Beban kritis ditentukan dengan offset 5 % pada spesimen dengan tiga macam sambungan pengelasan (*butt joint* dengan lebar sama, *butt joint* dengan lebar berbeda dan sambungan *lap joint*). Galatolo dan Lancioti (1997) meneliti perambatan retak fatik pada daerah tegangan sisa pada plat aluminium 2219-T851 dengan proses pengelasan plasma. Berkovits dkk (1998) meneliti pengaruh jenis sambungan terhadap kekuatan *fatigue* pada lima jenis sambungan las. Dari penelitian ini didapat hasil bahwa jenis sambungan berpengaruh terhadap kekuatan *fatigue*.

DASAR TEORI

Berdasarkan definisi dari DIN las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Sedangkan menurut Cary (1989) pengelasan adalah proses penyambungan bahan, yang dihasilkan oleh pertumbuhan bersama dari bahan atau pertumbuhan dari salah satu bahan yang dilas yang dihasilkan oleh pemanasan sampai temperatur pengelasan, dengan atau tanpa tekanan, dan dengan atau tanpa *filler* (logam pengisi).

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) atau juga dikenal dengan las TIG, digunakan untuk proses pengelasan pada aluminium dan aluminium paduan. Penggunaan arus bolak balik lebih direkomendasikan. Gas pelindung yang digunakan adalah gas argon,

¹⁾ Sulardjaka, ST., MT., Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNDIP

²⁾ Ir. Jamasri, Ph.D., Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM

helium atau campuran keduanya. Argon lebih populer digunakan terutama pada laju aliran yang lebih rendah. Helium memberikan penetrasi yang lebih dalam tetapi memerlukan laju aliran yang lebih tinggi. Oleh Irwin pada Broek (1987) telah diturunkan persamaan yang menghubungkan faktor intensitas tegangan dengan tegangan normalnya sebagai berikut:

$$K_I = \sigma_\infty \sqrt{\pi a} \quad (1)$$

Untuk pelat berhingga persamaan (3) menjadi :

$$K_I = Y \sigma_\infty \sqrt{\pi a} \quad (2)$$

Dengan a adalah panjang retak dan Y adalah fungsi bentuk yang tergantung pada ukuran pelat.

Laju perambatan retak per siklus ($\frac{da}{dN}$), dipengaruhi oleh faktor intensitas tegangan ΔK :

$$\frac{da}{dN} = f(\Delta K) = f\{(S_{\max} - S_{\min})\sqrt{\pi a}\} = f\{2S_a\sqrt{\pi a}\} \quad (3)$$

JALANNYA PENELITIAN

Bahan yang diteliti adalah Al 6061-T4. Logam pengisi (*filler*) yang dipakai adalah aluminium paduan Al 4043. Komposisi logam dasar dan logam pengisi ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi logam dasar dan *filler* (dalam % berat)

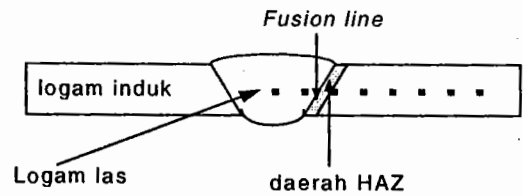
	Si	Mg	Mn	Cu	Ti	Al
Al 6061	0,6	1	0	0,28	0	sisa
Al 4043	5,2	0	0	0	0	sisa

Spesimen perambatan retak dibuat berdasarkan ASTM E647, sedangkan spesimen uji tarik berdasarkan ASTM B557M. Pengelasan dilakukan di *Welding Departement* PT. Dirgantara Indonesia Bandung. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian laju perambatan retak, uji tarik dan uji kekerasan. Pengujian perambatan retak dilakukan dengan mesin universal (*servo pulser*) pada $R = 0,1$ frekuensi 15 Hz, dan *stress level* 15 % s/d 20 %. Retak diamati dengan *optical travelling microscope* dengan perbesaran 20 x.

HASIL DAN PEMBAHASAN

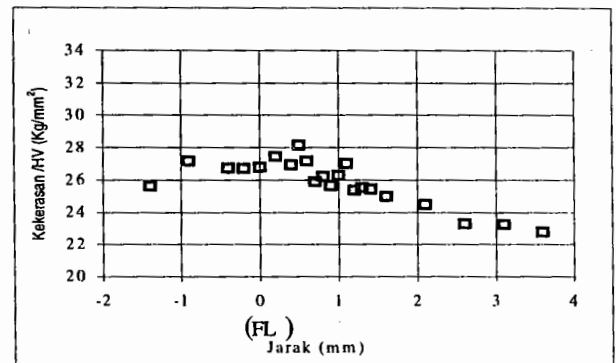
Pengujian komposisi dilakukan untuk mengetahui pengaruh komposisi *filler* terhadap perubahan komposisi pada logam las. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan unsur Si dari 0,6 % menjadi 2,27 %.

Pengujian kekerasan dilakukan pada hasil pengelasan dengan ketiga variasi *filler*. Kekerasan diuji pada daerah logam las, daerah HAZ dan daerah logam induk (gambar 2).



Gambar 2. Titik-titik uji kekerasan

Uji kekerasan dilakukan dengan mesin uji kekerasan (*vickers micro hardness*), dengan beban 0,2 Kg. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan daerah *fusion line* sebagai acuan jarak. Hasil uji kekerasan dapat ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik hasil uji kekerasan

Distribusi kekerasan pada daerah logam las relatif sama yaitu sebesar 26 Kg/mm². Pada HAZ kekerasan meningkat hingga mencapai 27,5 kg/mm², selanjutnya menurun dengan nilai kekerasan terkecil 25 kg/mm².

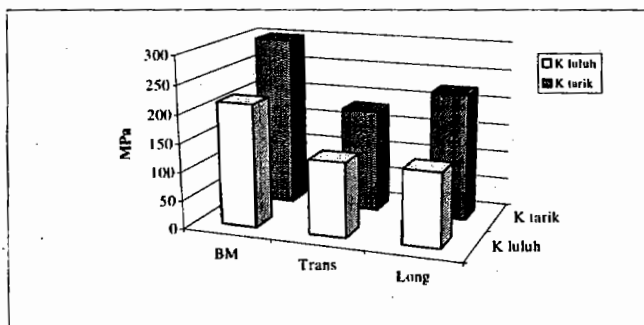
Pengujian tarik dilakukan pada *raw material*, hasil pada jenis sambungan *butt joint* transversal dan longitudinal. Hasil pengujian tarik statis ditunjukkan pada gambar 4 dan ditabelkan pada tabel 2. Dibandingkan dengan *raw material* pengelasan *butt joint* transversal maupun longitudinal menyebabkan penurunan kekuatan tarik maupun kekuatan luluhnya. Dari grafik dan tabel tersebut dapat dilihat bahwa terjadi penurunan kekuatan tarik dan kekuatan luluh sebesar 39 %. Pada pengelasan *butt joint* longitudinal juga terjadi penurunan kekuatan tarik maupun kekuatan luluh, besarnya penurunan kekuatan tarik sebesar 25 % dan penurunan kekuatan luluh sebesar 39 %. Turunnya kekuatan tarik dan luluh yang cukup

besar ini, disebabkan oleh adanya tegangan sisa tarik pada logam las yang cukup besar (Esterling, 1983 dan Kou, 1987) dan terjadinya pengasaran butir (gambar 9).

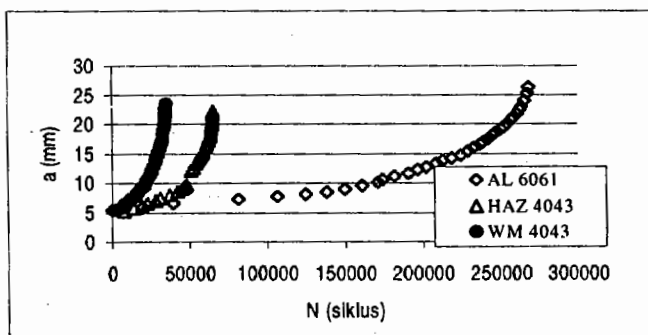
Kurva a vs N untuk pengujian perambatan retak untuk sambungan transversal ditunjukkan pada gambar 5 dan kurva $da/dN - \Delta K$ ditunjukkan pada gambar 6. Tabel 3 menunjukkan konstanta Paris untuk logam induk, logam las dan daerah HAZ. Dibanding dengan *raw material* nilai n pada konstanta Paris logam las mengalami penurunan, hal ini menunjukkan bahwa ketahanan terhadap ketahanan retak pada daerah ini lebih tinggi dibanding pada HAZ maupun logam induk. Peningkatan ketahanan retak pada daerah ini disebabkan adanya unsur paduan lain, seperti penambahan unsur unsur Si akibat penggunaan *filler* Al 4043. Pembentukan fasa *precipitate* antara Al dengan unsur-unsur tersebut meningkatkan laju ketahanan retak pada logam las.

Tabel 2. Hasil uji tarik

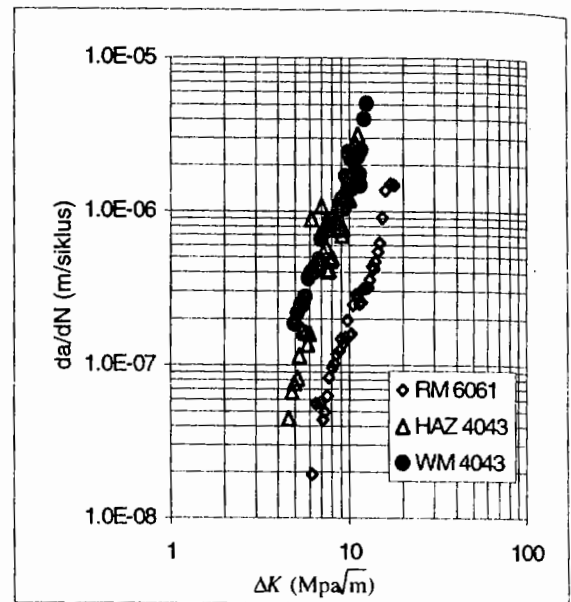
Bahan	Kekuatan tarik	Kekuatan luluh	Perpanjangan
Raw material	299 Mpa	216 Mpa	25 %
Butt transversal	182 Mpa	130 Mpa	4,13 %
Butt longitudinal	224 Mpa	130 Mpa	7,46 %



Gambar 4. Grafik hasil uji tarik



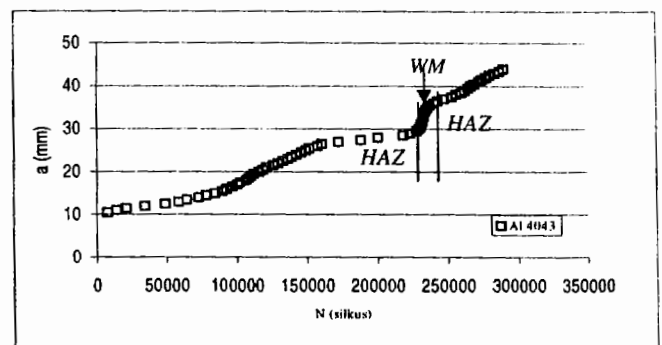
Gambar 5. Grafik hasil pengujian perambatan retak



Gambar 6. Grafik $da/dN - \Delta K$ pengelasan transversal

Tabel 3. Konstanta Paris pada sambungan transversal

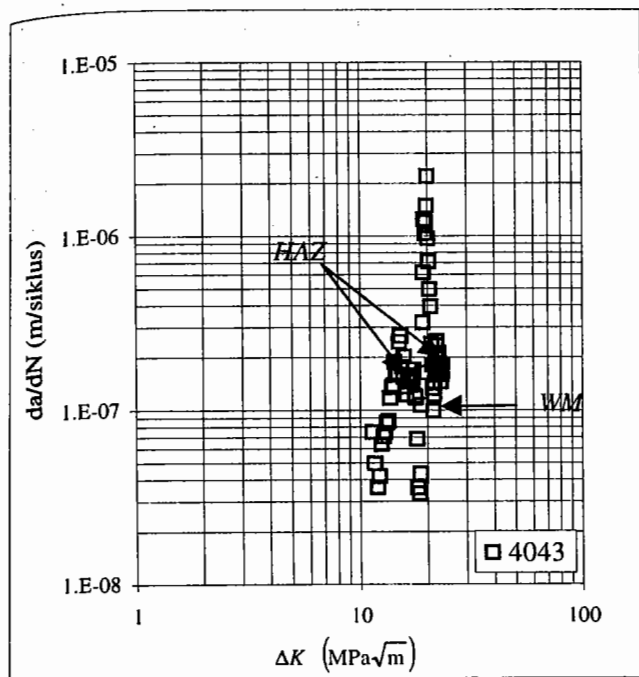
Daerah pengujian	n	C
Al 6061 – T4 (RM)	3,43	$6,39 \times 10^{-11}$
Logam las	3,06	$1,44 \times 10^{-9}$
Daerah Haz	3,74	$2,63 \times 10^{-10}$



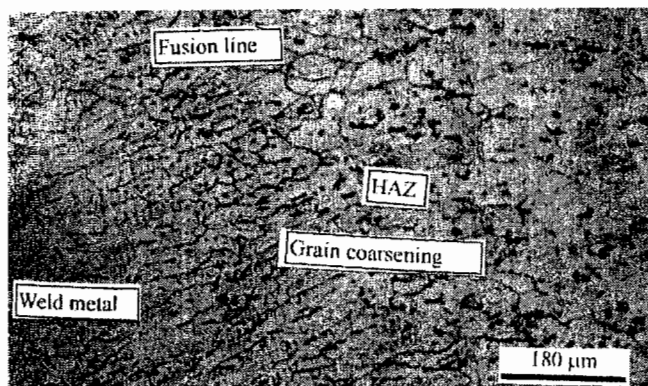
Gambar 7. Perambatan retak pada pengelasan longitudinal

Laju perambatan retak pada daerah HAZ pada sambungan transversal semakin cepat, hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya konstanta Paris n (tabel 3), meningkatnya laju perambatan retak pada daerah ini disebabkan adanya tegangan sisa akibat proses pengelasan, dan perubahan struktur mikro yang mengakibatkan terjadinya *grain coarsening*.

Hasil pengujian perambatan retak pada sambungan longitudinal menunjukkan bahwa perambatan retak semakin cepat pada saat ujung retak melewati logam las.



Gambar 8. Grafik da/dN - ΔK pengelasan longitudinal



Gambar 9. Struktur mikro hasil pengelasan

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari data hasil penelitian dan uraian-uraian tersebut di atas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Percampuran komposisi antara logam induk dengan *filler* akan menghasilkan komposisi pada logam las yang berbeda dengan logam induk. *Filler* Al 4043 mengakibatkan kandungan Si pada logam las menjadi 2,27 %.
2. Pengelasan *butt joint transversal* menurunkan kekuatan tarik dan kekuatan luluh sebesar 39 %. Penurunan regangan sebesar 82 %.

3. Pengelasan *butt joint longitudinal* menurunkan kekuatan tarik 25 %, kekuatan luluh sebesar 39 % dan penurunan regangan sebesar 70 %
4. Laju perambatan retak pada daerah HAZ pada pengelasan *butt joint transversal* semakin meningkat, ini disebabkan adanya perbesaran ukuran butir dan tegangan sisa. Hal ini ditandai dengan meningkatnya kontanta n sebesar 9 %, sedangkan kontanta C meningkat sekitar 65 %.
5. Konstanta n pada logam las dengan pengelasan *butt joint transversal* semakin turun menjadi 3,06. Hal ini disebabkan adanya penambahan unsur dari logam pengisi yang mengakibatkan terjadinya fasa *precipitate* pada logam las.
6. Pada pengelasan *butt joint longitudinal*, laju perambatan retak pada daerah HAZ dan logam las semakin meningkat.

Saran

Adapun saran-saran yang dapat diberikan demi kesempurnaan penelitian berikut adalah :

1. Proses pengelasan sebaiknya dilakukan dengan mesin las otomatis.
2. Perlu dilakukan penelitian, pengaruh variabel-variabel lain dalam proses pengelasan terhadap laju perambatan retak.
3. Dilakukan pengamatan hasil las dengan menggunakan sinar X, sehingga dapat diketahui adanya cacat retak akibat pengelasan.
4. Diusahakan dapat diamati laju perambatan retak pada sambungan las, dengan tanpa melakukan penghalusan pada daerah las, sehingga lebih mendekati pada kondisi lapangan.

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

a : Panjang retak (mm)

C : Konstanta Paris

CGR : Crack Growth Rate

da/dN : Laju Perambatan Retak

e : Perpanjangan

Hv : Kekerasan vickers (kg/mm^2)

L : Panjang akhir (mm)

L_o : Panjang awal (mm)

N : Siklus

n : Konstanta Paris

R : Rasio tegangan

S_{max} : Tegangan maksimum (Mpa)

S_{min} : Tegangan minimum (Mpa)

S_a : Tegangan rata-rata (Mpa)

Y : Fungsi bentuk

ΔK : Kisaran faktor intensitas tegangan ($Mpa\ m^{1/2}$)

σ_y : Tegangan luluh

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, 1995, *Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Grow Rates*, E647- 95a, Annual Book of ASTM Standard vol.11.03. Philadelphia.
- ASTM, 1989, *Standard Test Method of Tension Testing Wourght and Cast Aluminum-and Magnesium-Alloy Product*, B557-84, Annual Book of ASTM Standard vol.03.01. Philadelphia.
- Berkovits, A, D.W. Kelly, S.Di, 1998, *Consideration of The Effect of Residual Stresses on Fatigue of Welded Aluminium Alloy Structures*, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures* . vol :21, pp. 159-170.
- Broek, D, 1986, *Elementary Engineering Fracture Mechanics*, Martinus Nijhof Publisher, Dodrecht, Netherland.
- Cary, Howard B., 1989, *Modern Welding Technologi*, Prentice Hall, New Jersey.
- Easterling, Kenneth E.,1983, *Introduction to The Physical Metallurgy of Welding*, Butterworths & Co Ltd., Norwich.